

文章编号: 1005-1538(2017)05-0096-06

三维重建技术在考古中的应用探讨

姚 娅, 宋国定

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044)

摘要: 在考古工作中的三维重建不仅能更好地展示考古遗址、遗迹与出土文物, 还能对其空间信息进行全方位的采集与存档, 为后续考古研究、文化遗产保护与展示等工作积累丰富的素材。因此, 本研究以带有精细纹理的青铜鼎复制品为例, 运用多视角影像三维重建技术, 制作三维模型; 通过设置控制点建立平面三维坐标系, 生成正射影像图、侧视图、断面图、等值线图数字成果。研究成果可满足考古发掘现场绘图、后期三维展示与定量空间信息的分析等需要, 在考古研究及文物保护工作中具有重要的推广价值。

关键词: 考古; 三维重建; 多视角影像

中图分类号: K876.41 文献标识码: A

DOI:10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.2017.05.016

0 引言

随着考古学研究的不断深入, 多角度全方位空间信息的采集、展示越来越重要。在田野考古中, 发掘过程中的三维空间信息能够反映不同文化层间文化面貌, 由于考古发掘的不可逆转性, 对考古遗迹、遗存及时进行空间信息采集显得尤为重要。三维空间建模是以三维空间形态为出发点进行空间分布形态与规律特征信息的提取。传统田野考古所采取的拍照、绘图等获取手段难以实现完整空间信息的获取与还原, 更难以进行完整的定量描述与分析。三维建模技术便能很好地解决这些问题。三维建模技术的应用不仅能够直观反应遗迹空间形态及分布特征, 并且叠加不同时间的遗迹现象, 能更加直观地呈现出遗迹的动态变化过程, 实现历时性研究。

在考古发掘过程中, 为避免遗迹、遗存因保存环境的变化造成破坏, 需及时清理, 所以进行三维信息的采集也需要具有灵活快捷及无损等特点。基于多视角影像三维模型的重建, 仅需对原始遗迹现象进行多视角影像获取和必要的控制测量, 便能对遗址三维空间信息进行还原, 为下一步研究提供第一手资料。

1 三维建模技术在考古中的应用

考古遗存的三维重建对回溯历史、恢复古环境等考古研究具有重要意义。在考古工作中三维建模

技术种类也比较多, 在方法上可依据其原理的不同分为三类, 即使用传统几何体建模、三维激光扫描建模以及通过摄影测量原理建模。

1.1 基于传统立体几何原理的建模方法

利用包括立方体、球体等基础的几何元素, 经过一系列几何运算操作, 如平移、转置、旋转、拉伸以及布尔运算等来构建复杂的几何场景。通过建模方式构建三维模型主要包括了几何建模、物理建模、行为建模、对象特性建模和模型切分等。其中, 几何建模的创建与描述, 是虚拟场景造型的重点^[1]。通常应用较多的是通过表面结构模型和实体结构模型进行建模。

这种建模方法用于规则的实体建模较多, 如工业生产中进行模具加工前, 通常采用传统几何体建模方式进行较精确的建模设计。几何体建模方式在考古领域运用最多的是通过计算机辅助制图进行一些文物的复原, 并进行测量等。但此种方法在面对实体结构复杂的器物时, 建模难度会增加, 同时数据量和计算机的处理时间也相应增加^[2]。总的说来, 该方法适用于小件规则文物的建模, 不太适用于考古野外发掘过程。

1.2 基于三维激光扫描的建模方法

三维激光扫描技术主要是利用扫描仪通过三维扫描测量技术, 采集物体的空间坐标、尺寸以及纹理影像等数据。三维扫描仪又称为三维数字化仪, 原理是通过发射和接受脉冲式激光, 生成大量较高精度点云, 再现所测物体的三维实体景观, 适用领域非

收稿日期: 2015-12-18; 修回日期: 2016-04-06

作者简介: 姚 娅(1987—), 女, 博士研究生, 2014 年起就读于中国科学院古脊椎动物与人类研究所。E-mail: yaoya815@hotmail.com

常广泛。它与传统的平面扫描仪、摄像机、图形采集卡相比有诸多不同,首先扫描对象不再是平面图案,而是立体实物,并能获取物体表面每个采样点的三维空间相对坐标,通过彩色扫描仪还可以获得每个采样点的色彩,更有某些特殊扫描设备甚至可以获取物体内部三维数据。它输出的不是二维图像,而是包含物体表面每个采样点的三维空间坐标和色彩的数字模型文件。它进行非接触式的光学扫描,能够快速获取到物体表面的三维数据,并减少对于物体的损伤。但对透明物体的采集,由于激光的特点,无法对目标产生有效的反射光路,所以在无外界辅助措施帮助时,无法直接对透明物体采集三维数据。

凭借非接触式的三维激光扫描测量技术采集的点云数据,完全来自于真实的文物实体,测量技术成熟,数据精度较高,可以说是遗迹遗存的忠实仿真^[3]。虽然三维激光扫描可对不同体积大小、不同规则程度的实体或实景进行三维数据采集,但也具有局限性。三维激光扫描的后期数据处理时,点云与纹理之间往往无法自动匹配,如在对壁画进行扫描时就可能无法寻找足够的匹配点,从而影响纹理贴合的精度。加之三维激光扫描仪的价格昂贵,无法直接生成纹理,后期处理的工作量巨大,数据处理时间冗长。

1.3 基于数字摄影测量原理的建模方法

基于数字摄影测量与计算机视觉技术的三维重建技术也越来越广泛地应用于各个领域。数字摄影测量是根据人眼双目视觉原理,在被测物体前的两个已知位置摄取两张数字影像,在计算机软件支持下量测左右影像上同名点的影像坐标,交汇得到空间点的三维坐标生成“点云”,由此构建三维数字表面模型(DSM),再将它连接构建不规则三角网(TIN)。最后将影像的“纹理”映射到由点云构成的空间三角网上,就能建立空间物体的真实三维模型^[4]。因此,数字摄影测量可以根据数字影像重建空间物体的三维模型。该种方式是基于测量技术,可以精确获取空间距离、三维坐标等信息^[5]。通常此类建模方式都需要通过影像解算坐标,所以对于建模所需影像具有一定要求。如基于多基线摄影测量系统 Lensphoto 根据视角场和基线长度来确定影像数量,并且对于控制点的布设也尽量均匀分布^[6]。除对数据采集时摄影有一定要求外,数字摄影测量具有灵活性强、数据处理快捷等特点,不失为三维数据采集首选。

基于数字摄影测量原理的建模技术在操作灵

活性、便捷度上明显区别于传统的单点定位测量、点线测绘技术以及三维激光扫描技术,已逐渐代替传统考古测绘方式。考古工地作为考古数据采集的第一现场,获取的各种信息是未来考古学研究及文化遗产保护与研究的重要资源,三维数据的精度直接影响着考古数据的真实性,而数字摄影测量建模方法更能够满足这种高精度需求。随着文物保护需求的不断提升,数字摄影测量技术在考古遗址中的应用,为文化遗产的后期保护和研究、展示提供支撑。

2 多视角影像三维建模案例

本研究运用俄罗斯 Agisoft 公司研发的 Agisoft Photoscan 软件进行三维重建,它是一款基于数字影像自动生成高质量三维模型的软件,根据多视角影像三维重建技术,可以对不同视角拍摄的影像进行处理,生成真实坐标的三维模型。无论是航摄影像还是地面拍摄的多角度影像都可以在该软件中进行处理,小到考古发掘出土的陶片,大到数十万平方米的考古遗址^[7]都能够进行三维建模。在软件中导入具有足够重叠度的数字影像,便可实现高质量的三维模型重建与正射影像生成,整个工作流程无论是影像定向还是三维模型重建过程几乎完全自动化。本研究运用多视角影像三维重建技术,对纹饰繁复的青铜鼎(复制件)进行三维建模处理,生成真实纹理的三维模型、正射影像图、侧视图、断面图、等值线图等资料,成果丰富,满足考古发掘现场绘图、后期三维展示与定量空间信息的分析等需要。

2.1 多视角影像三维重建流程

多视角三维建模在对建模主体场景进行捕捉后,对模型的构建基本能够通过计算机自动实现。相对传统立体几何方式与三维扫描的建模方式而言,多视角三维建模方法人工干预相对较少。其具体流程如图1所示。

2.1.1 影像获取 在确定建模主体后,尽量对所捕捉的场景进行一定规划,做到影像拍摄有序进行,如围绕建模主体按顺时针(或逆时针)方向逐步拍摄且必须保证相邻影像重叠率达到60%以上(图2)。

此外,相机的设置非常重要,笔者使用M档设置了统一的光圈和曝光时间。虽然 Agisoft Photoscan 软件建模不需要设置统一的焦距对影像进行拍摄,但为保证拍摄效果的一致性,对影响影像质量的参数尽可能保持一致,并在尽量短的时间内完成拍

摄^[8]。基于文物与遗址性质上的差别,在拍摄体积较小的文物影像时,应注重细节的表现,而大范围遗址则应注重遗址的完整性及各遗迹单元之间的空间位置关系。

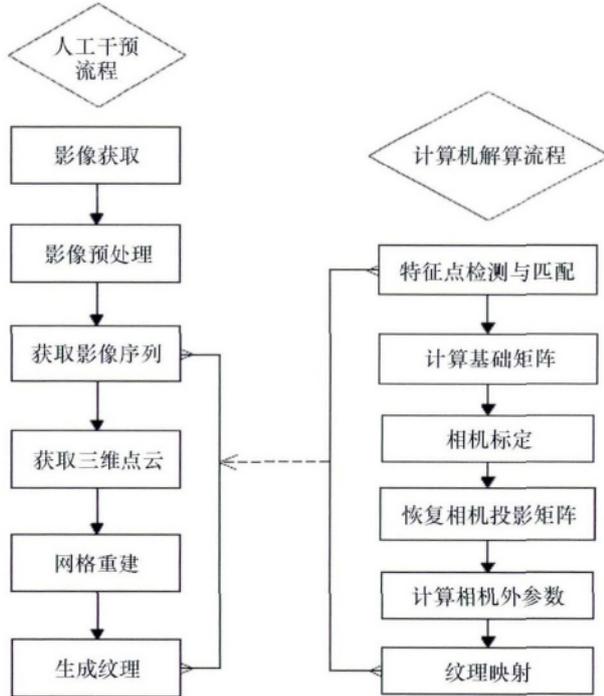


图 1 多视角影像三维重建流程图
Fig. 1 The flow chart of 3D reconstruction

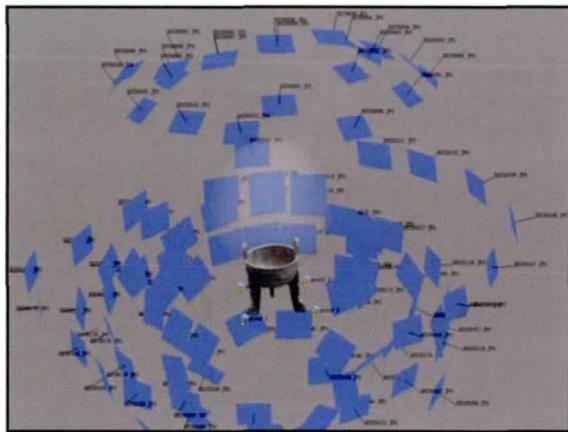


图 2 影像获取位置图
Fig. 2 The locations of cameras

为满足考古定量研究的需求,在建模过程中应建立相应的坐标系统进行控制测量。主要是在建模场景内设置一定数目的地面控制点,并对控制点进行精确测量,然后在软件中输入所测坐标。针对大型遗址可直接用其全站仪(或其他测绘设备)所测数据。建立控制测量坐标系,不但可以在软件中对建模主体中任意两点间的距离测量,还

能在后期对模型精度进行评估。模型进行控制测量不能少于三个控制点,推荐设置四个控制点。在布设控制点时,尽量使之均匀分布于整个场景,如本案例中使控制点均匀分布于场景边缘四角(图 3)。

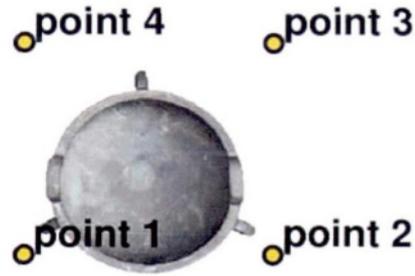


图 3 控制点分布图
Fig. 3 The locations of ground control points

2.1.2 影像预处理 如果拍摄的影像比较暗淡、反差较低,可用 Adobe Photoshop 等图像处理软件进行影像反差调节、亮度增强。但不要对影像进行裁剪或其他几何变换(即平移、拉伸或局部旋转等)。为帮助用户能够识别影像的可用性,Agisoft Photoscan 具有自动图像质量评估功能,在软件中进行评估,再对小于 0.5 单位质量值的影像被推荐为影像禁用,利用它用户在建模之前就可以剔除掉模糊或其它不合格的影像。

2.1.3 三维重建 在对影像进行预处理之后便可以使用合格影像进行建模。首先进行影像排序(即获取影像序列),之后生成三维点云。生成点云后,用户能够对点云进行编辑,可删除明显偏离实体位置、粗差较大的点云数据。然后进行实体构建和纹理的自动生成。建模过程操作基本完全自动化,人工操作简单。

在实际工作中,由于器物的不规则、文物保护与拍摄条件限制等原因,有时可能无法一次性获取整个场景的完整影像。如本研究案例中的青铜器,正常铜鼎足部支撑放置于一个台面时,通过相机不能很好获取青铜器底部影像。所以需要在另一台面上倒置青铜鼎,拍摄第二组影像。然后在软件中将两次拍摄的影像各自建模,最后进行数据拼接生成完整的青铜鼎三维模型。构建的三维模型不但可以生成青铜鼎各立面的正射影像(图 4),还可以自定义角度进行旋转展示。对较复杂的遗迹现象和纹饰繁复的文物,可通过三维模型的剖切,进行更直观的展示与研究。如图 5 所示,从青铜鼎的一个切面能更好研究鼎内部纹饰。

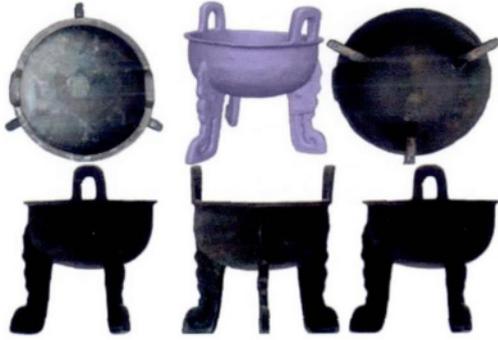


图 4 各立面正射影像

Fig. 4 Orthophotos of different elevations

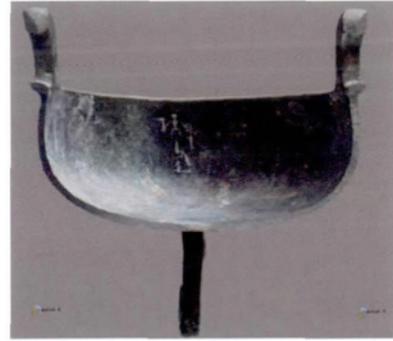


图 5 青铜鼎剖视图

Fig. 5 Profile of the bronze tripod

2.2 生成等值线图

青铜鼎三维重建之后能够在软件中对模型上特征点进行测量,获取高精度的点位信息。根据正射影像图绘制线划图也会更加便捷。通过三维模型导出的数字高程模型(DEM, Digital Elevation Model),能够在 Global Mapper 等软件中快速生成精确的等

值线图(图 6~7)。

等值线图的生成,对青铜鼎制作工艺研究具有重要意义。通过图 7 中的等值线,可见青铜鼎底部在铸造时并没有完全对称的特征。在文物修复过程中,可对文物修复前后的三维模型进行存档,建立文物数字档案,为后续修复、研究提供原始资料^[9-10]。

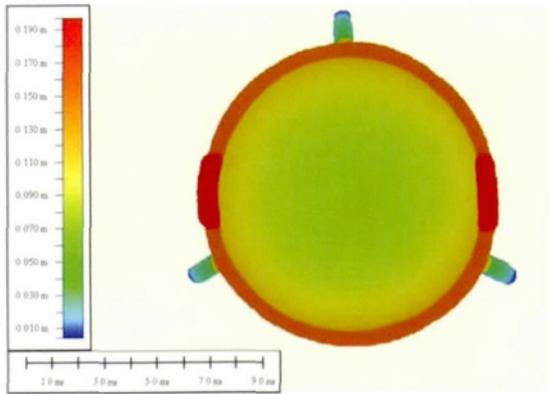


图 6 青铜鼎 DEM

Fig. 6 DEM of the bronze tripod

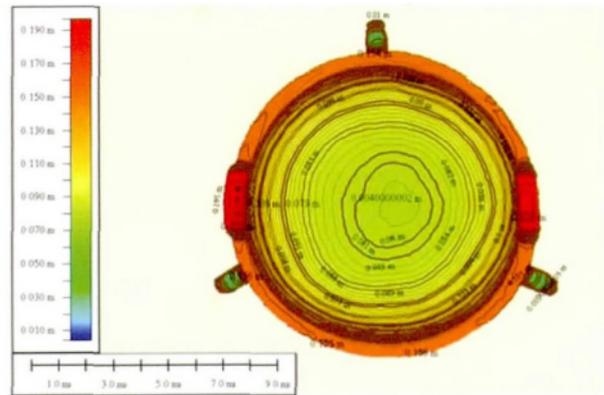


图 7 5mm 等高距的等值线图

Fig. 7 5mm contour line graph

本研究选取的案例体积较小,但建模方式同样适用于其他大型考古遗存、遗迹。在对遗址或墓葬等进行三维重建时,采用全站仪、RTK 等仪器测量控制点坐标,进行建模可生成遗址或墓葬较大范围内的等高线图^[9]。

2.3 模型精度

通过软件生成三维模型后,可导出相关模型的进程报告,其中包含了模型精度相应的误差分析。中国社会科学院考古研究所刘建国研究员在《考古现场三维重建与研究》的讲座中指出,Agisoft Photoscan 软件生成小型器物模型的精度一般在 0.1mm 左右,考古发掘现场三维模型的最高精度可以控制在 3mm 左右,可见采用多视角影像三维重建的模型精度能够满足考古学研究对于精度的要求。

2.4 Agisoft Photoscan 建模注意事项

拍摄多视角影像的数字相机最好具有可翻转的显示屏,便于从不同角度对目标物进行取景、拍摄。相机设置成手动档(M 档),选择目标物最亮部分测光,设置光圈与曝光时间,使其曝光合适,一组影像使用相同参数设置,较暗部位可以曝光稍弱,必要时可以使用软件调整影像的亮度与反差^[11]。光圈数值最好选择 8 或 10,曝光时间应小于 1/60s,一般相机的感光度设置在 100~400 之间,少数高感光度相机可以增加。手动设置白平衡为日光或阴天等模式,因为自动白平衡模式在拍摄不同角度影像时,往往会出现色调差异很大的情况。对焦模式选择中心位置单点、单次自动对焦。

拍摄多视角影像时需要不断移动相机,从不同角度对考古工作现场或文物进行拍摄。拍摄过程中

首先依次拍摄相互重叠的影像,保证能够建立目标物整体的三维模型,然后再补充拍摄表面有较大起伏的各个局部的影像,确保各个局部都能够进行三维重建。但同时也尽量不要拍摄多余的影像,以免耗费不必要的计算机处理时间。

运行 Agisoft Photoscan 软件进行三维重建时对计算机配置具有一定的要求,应该选择性能高、速度快的 i7 CPU 8GB 以上内存和固态硬盘。影像数目较多(超过 200 幅)时应该使用图形工作站来处理,或者降低全部影像的像素,使三维重建工作进行顺利。

3 结 论

本研究通过对比几种常见的三维建模技术特征,以青铜复制品为例,使用 Agisoft Photoscan 软件进行多视角影像三维重建,生成各平面、立面、剖面、断面的正射影像图,在考古研究及文物保护工作中具有重要的推广价值。比较目前应用广泛的三维激光扫描技术,多视角影像三维重建技术具有如下特点:

1) 适用范围广。从考古遗址,到发掘现场、出土文物等都可以拍摄多视角影像进行三维重建。影像拍摄和软件操作都非常简便,考古人员只需经过简单培训便能完成考古遗址、出土文物等的三维重建工作。而三维激光扫描技术操作复杂,很难大范围推广^[14]。

2) 数据质量好。通过多视角影像三维重建所构建模型误差小、精度高、纹理拟合精度很高,模型质量能够满足数据存档、考古研究和文物保护的需求。三维激光扫描技术最终生成模型的面数较少,纹理拟合精度较低,真实性较差。

3) 建模效率高。多视角三维重建技术影像拍摄与数据处理时间短、设备简单,成本低廉。三维激光扫描设备的成本昂贵,数据采集、处理时间很长,不能满足考古现场复杂现象的三维重建工作。

总之,以 Agisoft Photoscan 软件为代表的多视角影像三维重建技术在考古研究与文物保护领域将会获得极其深入、广泛的应用。

参考文献:

[1] 张 海. GIS 与考古学空间分析[M]. 北京大学出版社, 2014: 273.
ZHANG Hai. GIS and archaeological spatial analysis [M]. Peking

University Press, 2014: 273.

- [2] 旷中平. 基于地面三维激光扫描技术在考古遗址中的应用研究[J]. 科技风, 2014(9): 111-111.
KUANG Zhong-ping. The applied research of archaeological sites based on three-dimension laser scanner [J]. Science Wind, 2014 (9): 111-111.
- [3] 吴玉涵, 周明全. 三维扫描技术在文物保护中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 173-176.
WU Yu-han, ZHOU Ming-quan. Application of 3D scanning technique in heritage protection [J]. Computer Technology Development, 2009, 19(9): 173-176.
- [4] 王佩军, 徐亚明. 摄影测量学[M]. 武汉大学出版社, 2005: 132.
WANG Pei-jun, XU Ya-ming. Photogrammetry [M]. Wuhan University Press, 2005: 132.
- [5] 刘 钢, 彭群生, 鲍虎军. 基于图像建模技术研究综述与展望[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(1): 18-27.
LIU Gang, PENG Qun-sheng, BAO Hu-jun. Review and prospect of image-based modeling techniques [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(1): 18-27.
- [6] 郑顺义, 王瑞瑞, 陈长军, 等. 基于立体相机的三维场景建模[J]. 测绘通报, 2008(2): 20-22.
ZHENG Shun-yi, WANG Rui-rui, CHEN Chang-jun, et al. 3D measurement and modeling based on stereo-camera [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2008(2): 20-22.
- [7] 张小宏, 赵生良, 陈丰田. Agisoft photoscan 在无人机航空影像数据处理中的应用[J]. 价值工程, 2013, 163(20): 230-231.
ZHANG Xiao-Hong, ZHAO Sheng-Liang, CHEN Feng-Tian. The application of Agisoft photoscan in UAV aerial photographic image data processing [J]. Value Engineering, 2013, 163(20): 230-231.
- [8] 刘建国. 辽宁建昌县东大杖子 M40 的三维建模与探索[J]. 考古, 2014(12): 94-98.
LIU Jian-guo. Three-dimensional reconstruction and exploration of M40 in Dong Dazhangzi in Jian Chang County LiaoNing [J]. Archaeology, 2014(12): 94-98.
- [9] 刘建国. 考古遗址的超低空拍摄于数据处理[J]. 考古, 2015(11): 98-104.
LIU Jian-guo. The low-altitude photography of archaeological sites and data processing [J]. Archaeology, 2015(11): 98-104.
- [10] 陈 超, 王 倩. 考古三维复原动画与公众考古[J]. 科技视界, 2013(25): 220-220.
CHEN Chao, WANG Qian. Three-dimensional reconstruction of archaeological display and public archaeology [J]. Science and Technology Vision, 2013(25): 220-220.
- [11] Agisoft. Useful Tips on Image Capture: How to Get an Image Dataset that Meets PhotoScan Requirements [EB/OL]. Russia: Agisoft Ltd. [2012 - 10 - 15]. <http://www.agisoft.com/support/tips-tricks/>.

The exploration of three-dimensional reconstruction technique in archaeology

YAO Ya , SONG Guo-ding

(Department of Archaeology and Anthropology , University of Chinese Academy of Sciences; Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100044 , China)

Abstract: The technique of three-dimensional modeling not only can help archaeologists display ruins , but also saves antiques' spatial information more completely in variable time-sequence. It can provide various materials for following analysis. In this paper , a multi-view 3D model of a bronze tripod , as an example , was reconstructed by applying the multi-view three-dimensional reconstruction technique. A coordinate system established by setting control points can help extract contour lines and generate orthophotos and profile drawings.

Key words: Archaeology; 3D reconstruction; Multi-view images

(责任编辑 潘小伦)

· 通 讯 ·

“文物保护修复中的激光清洗技术国际学术研讨会” 在上海博物馆召开

DOI:10.16334/j.cnki.cn31-1652/k.2017.05.017

2017年8月11日~12日,由上海博物馆和意大利国家研究委员会文化遗产保护修复研究所(CNR-ICVBC)共同主办的“文物保护修复中的激光清洗技术国际学术研讨会”在上海博物馆文物保护科技中心召开。本次研讨会是国内首次以“文物激光清洗技术”为主题的会议,来自38家中外文博单位、高校、企业的60余位代表参加了会议。上海博物馆副馆长胡江和意大利国家研究委员会文化遗产保护修复研究所所长玛利亚·珀拉·科隆比尼在会议开幕式上分别致辞。

作为一种文物保护修复技术和装备,激光清洗技术在国际上已经得到广泛应用,尤其是在古建筑及其各种构建表面清洗保护修复方面,具有很多成功的案例,并且自1995年起连续召开“激光在艺术品保护中的应用”(LACONA)专题学术研讨会,形成了国际专业研究和应用交流平台。就中国文物保护领域而言,近年来已经开展专题技术研究和装备研发工作,一批文物保护研究机构也添置了各种激光清洗设备,正在开展试验研究和应用探讨。因此,如何在独具特色的中国文物保护修复中应用激光清洗技术,已经成为当今国内外文物保护修复人员面对的紧迫课题。

在会上,来自CNR-ICVBC、意大利 Assorestaurato 修复协会、上海博物馆、中国文化遗产研究院、陕西省文物保护研究院、陕西历史博物馆、南京博物院、广东省博物馆、四川博物院等国内外文博机构的10位代表作了专题报告,部分其他会议代表在圆桌会议上进行了发言交流,参会代表还动手感受了激光清洗设备的操作方法和效果。会议就激光清洗技术在馆藏金属、石质、陶瓷、壁画、书画、油画等各类材质文物保护修复中的应用研究、实践经验和应用工艺进行了专题讨论,对激光清洗各种文物的理念、机理和应用前景进行了热烈交流,对于促进激光清洗技术在中国文物保护修复中应用的适用性、使用性、安全性和规范性研究具有积极意义。

上海博物馆与意大利国家研究委员会文化遗产保护修复研究所(CNR-ICVBC)在2015年签署了三年的科学合作框架协议。继2015年“文物保护与博物馆建设”国际博物馆馆长高峰论坛、2016年“文化遗产检测、保护和修复”培训课程等联合活动之后,本次学术研讨会是新年度合作的的活动之一,反映了上海博物馆与CNR-ICVBC的合作研究正在由面及点、由浅入深地顺利发展。

《文物保护与考古科学》编辑部